



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana -Fitiavana Fandrosoana
-----oooOooo-----
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



-----ooo0ooo-----
UNIVERSITÉ D'ANTSIRANANA
-----ooo0ooo-----
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTSIRANANA
-----ooo0ooo-----
MENTION GENIE MECANIQUE
PARCOURS GENIE MECANIQUE
-----ooo0ooo-----

MEMOIRE DE LICENCE

REALISATION DE BROYEUR DE RIZ

Réalisés par :

ANDRIANTSITOHAINA Mamitiavina Luckardo

RAKOTOMAMONJY Elisa

Soutenue le 12/09/24

Membres du jury :

Pr. RAJAONAH Rabevala

Président

Dr. RABEMANANJAFY Paul de la Croix

Encadreur

Pr. RAFIDISON Barisoa

Encadreur

Année universitaire : 2023 - 2024



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana -Fitiavana Fandrosoana
-----0000000-----
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



-----0000000-----
UNIVERSITÉ D'ANTSIRANANA
-----0000000-----
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTSIRANANA
-----0000000-----
MENTION GENIE MECANIQUE
PARCOURS GENIE MECANIQUE
-----0000000-----

MEMOIRE DE LICENCE

REALISATION DE BROYEUR DE RIZ

Réalisés par :

ANDRIANTSITOHAINA Mamitiavina Luckardo

RAKOTOMAMONJY Elisa

Soutenue le 12/09/24

Membres du jury :

Pr. RAJAONAH Rabevala

Président

Pr. RABEMANANJAFY Paul de la Croix

Encadreur

Pr. RAFIDISON Barisoa

Encadreur

Année universitaire : 2023 - 2024

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous exprimons notre profonde gratitude et nos plus grands remerciements à Dieu tout puissant, sans l'aide duquel ce travail n'aurait jamais pu aboutir.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement nos deux encadreurs, le Docteur RABEMANANJAFY Paul de la Croix et le Docteur RAFIDISON Barisoa, pour leurs idées et leurs conseils tout au long des différentes étapes de ce travail.

Nous adressons également nos plus sincères remerciements au Président et à tous les membres de jury qui ont dépensé leur temps pour examiner et donner leur jugement sur ce travail.

Sans oublier aussi, nos vifs remerciements s'adressent à tous les enseignants de l'ESPA qui nous ont partagé leurs connaissances.

Enfin, nous voulons apporter nos sincères remerciements à toutes les personnes qui directement ou indirectement, par leurs encouragements, conseils et aides désintéressés, nous ont soutenues pendant durée de nos études

Merci à toutes et à tous.

CAHIER DES CHARGES

REALISATION D'UNE MACHINE DE BROYEUR DE RIZ (GM3)

CONTEXTE

Le riz est la base alimentaire à Madagascar. Les Malgaches l'utilisent dans de nombreux plat traditionnel tel que le "godrogodro", le "mofogasy" et le "koba". Ces plats emblématiques sont préparés à partir de farine de riz, qui est un ingrédient essentiel pour obtenir la texture et la saveur désirée.

Cependant, l'accès à une farine de qualité n'est pas toujours aisé pour tous les Malgaches. Les défis liés à sa production et à sa distribution peuvent entraîner des pénuries locales et des difficultés d'approvisionnement, notamment dans les régions éloignées. Cela créer un écart entre la demande croissante de farine de riz et sa disponibilité réelle sur le marché, compromettant ainsi la capacité de familles Malgaches à cuisiner les plats traditionnels qui font partie intégrante de notre patrimoine culturel.

Ce projet vise à améliorer l'accessibilité de la farine de riz, en mettant en œuvre une machine de broyeur de riz pour renforcer la chaîne d'approvisionnement en farine de riz. Il peut contribuer à combler les trous entre l'offre et la demande, assurant ainsi une disponibilité constante de la farine de qualité à Madagascar.

TRAVAUX DEMANDES

- Etude bibliographique
- Synthèse
- Conception, dimensionnement
- Dessin de définition et d'ensemble 2D et 3D
- Réalisation et essais
- Mode d'emploi

ENCADREURS

- Dr. RAFIDISON Barisoa
- Dr. RABEMANANJAFY Paul de la Croix

ETUDIANTS

- RAKOTOMAMONJY Elisa
- ANDRIANTSITOHAINA Mamitiavina Luckardo

RESUME

Ce travail est une proposition des étudiants portant sur la conception et la réalisation d'un broyeur de riz, destiné à la mouture de riz. L'objectif de cette étude est de comprendre, d'apprendre les processus de fabrication d'une machine de broyage de riz, ainsi que de déterminer les paramètres de qualité de production. Après une étude comparative entre deux systèmes de broyage, à savoir le broyage à marteau fixes. La conception et la simulation ont été faites avec le logiciel SolidWorks. La machine est conçue pour être fabriquée à partir de moyen local tout en garantissant sa résistance aux charges maximales rencontrées lors de l'utilisation.

Mot clé : broyeur de riz, mouture de riz, marteau fixes, SolidWorks, simulation.

ABSTRACT

This work is a student proposal focused on the design and construction of a rice milling machine. The objective of this study is to understand and learn the processes involved in manufacturing a rice milling machine, as well as to determine the production quality parameters. After a comparative study between two milling systems, namely the mobile hammer milling and fixed hammer milling, we opted for the fixed hammer system. The design and simulation were carried out using SolidWorks software. The machine is designed to be manufactured using local resources while ensuring its resistance to the maximum loads encountered during operation.

Keywords: rice milling machine, rice milling, fixed hammers, SolidWorks, simulation.

LISTES DES FIGURES

FIGURE I.1 CHAMBRE DE BROYAGE(MARTINE 1988).CE SCHEMA MONTRE LA CHAMBRE DE BROYAGE ET SES CONSTITUANTS.....	4
FIGURE I.2 MARTEAU(MARTINE 1988). CE SCHEMA MONTRE LES MARTEAUX ET SES ANGLES D'ATTAQUES.....	4
FIGURE I.3 MARTEAU FIXE, MOBILE (BROUTIN 2003).....	5
FIGURE II. 1 SCHEMA CINEMATIQUE DU BROYEUR.....	14
FIGURE II. 2 SOLLICITATION SOUMISE A L'ARBRE	19
FIGURE II. 3 DIAGRAMME DE MOMENT FLECHISSANT	20
FIGURE II. 4 SIMULATION DE L'ARBRE	22
FIGURE II. 5 SIMULATION DE MARTEAU	23
FIGURE II. 6 SIMULATION DE PLACE DE MOTEUR TRANSVERSALE	24
FIGURE II. 7 SIMULATION BATIS	24
FIGURE II. 8 GAMME DES PUISSANCES TRANSMISSIBLES PAR TYPE DE COURROIE(TRANSMISSIONS PAR POULIES ET COURROIES DIMENSIONNEMENT NORME ISO4183, S. D.).....	26
FIGURE II. 9 LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES COURROIES (TRANSMISSIONS PAR POULIES ET COURROIES DIMENSIONNEMENT NORME ISO4183, S. D.).....	26
FIGURE II. 10 LONGUEUR PRIMITIVE (TRANSMISSIONS PAR POULIES ET COURROIES DIMENSIONNEMENT NORME ISO4183, S. D.).....	29
FIGURE II. 11 ANGLE D'ENROULEMENT (TRANSMISSIONS PAR POULIES ET COURROIES DIMENSIONNEMENT NORME ISO4183, S. D.).....	29
FIGURE II. 12 LA TREMIS.....	32
FIGURE II. 13 COQUE CENTRALE	32
FIGURE II. 14 VERSEUR.....	33
FIGURE II. 15 TAMIS	33
FIGURE II. 16 MARTEAU.....	33
FIGURE II. 17 ARBRE	34
FIGURE II. 18 POULIE	34
FIGURE II. 19 BATIS	34
FIGURE II. 20 VUE D'ENSEMBLE DE BROYEUR DU RIZ.	35
FIGURE III. 1 TREMIS	37
FIGURE III. 2 COQUE CENTRALE	38

FIGURE III. 3 VERSEUR	38
FIGURE III. 4 TAMIS	39
FIGURE III. 5 MARTEAU	39
FIGURE III. 6 ARBRE	40
FIGURE III. 7 POULIE	40
FIGURE III. 8 BATIS	41
FIGURE III. 9 BROYEUR ENSEMBLE	41
FIGURE III. 10 RIZ BLANC	42
FIGURE III. 11 1 ^{ERE} ESSAI	44
FIGURE III. 12 2 ^{EME} ESSAI	44
FIGURE III. 13 PROCESSUS DE FABRICATION DE LA FARINE	46

LISTES DES TABLEAUX

TABLEAU I. 1 COMPARAISON DE TYPES DE MOTEURS	8
TABLEAU I. 2 PROBLEMES, CAUSES ET RECOMMANDATIONS(FAYE 2021).....	10
TABLEAU II. 1 NOMENCLATURE.....	14
TABLEAU II. 2 INDEX DE TRAVAIL DE LA DESTRUCTION D'APRES BOND(PETROVA ET PILOV 2013).....	15
TABLEAU II. 3 CARACTERISTIQUES DU MOTEUR YC. (« YC SERIES SINGLE PHASE INDUCTION ELECTRIQUE MOTOR (YC112M-4, B3) », S. D.)	16
TABLEAU II. 4 CALCULATRICE D'ARBRE(« TABELLE VITESSE DE COUPE », S. D.)	17
TABLEAU II. 5 CARACTERISTIQUES MECANQUES DES MATERIAUX DES PIECES DU BROEUR.....	18
TABLEAU II. 6 CARACTERISTIQUE DE MATERIAU ACIER INOXYDABLE.....	21
TABLEAU II. 7 CARACTERISTIQUE DE MATERIAU ACIER ALLIE.....	22
TABLEAU II. 8 CARACTERISTIQUE DE MATERIAU ACIER ALLIE	23
TABLEAU II. 9 COEFFICIENT DE SERVICE Ks (TRANSMISSIONS PAR POULIES ET COURROIES DIMENSIONNEMENT NORME ISO4183, S. D.).....	25
TABLEAU II. 10 DIAMETRE PRIMITIVE DE POULIES (TRANSMISSIONS PAR POULIES ET COURROIES DIMENSIONNEMENT NORME ISO4183, S. D.).....	27
TABLEAU II. 11 PUISSANCE DE BASE (TRANSMISSIONS PAR POULIES ET COURROIES DIMENSIONNEMENT NORME ISO4183, S. D.).....	28
TABLEAU II. 12 TOLERANCE SUR L'ARBRE ET VITESSE ADMISSIBLE.....	30
TABLEAU II. 13 TABLEAU : PALIERS A SEMELLE SELF-LUBE EN FONTE SERIES NP.....	30
TABLEAU II. 14 CHOIX DE CLAVETTE (CHEVALIER 2004).	31

GLOSSIAIRE

V_C : Vitesse peripherie de la meule

n_s : Nombre de tours de la meule

$\emptyset$: Diamètre ou longueur de marteau

E_B : énergie nécessaire pour la destruction en (KWh/t)

Q : Débit d'alimentation en t/h

P : Puissance utile en kW

W : Index de travail en kWh/t

D (mm) : diamètre du produit final en mm

d (mm): diamètre du produit initiale en mm

P_m (kW) : Puissance du moteur en kW

N_2 (tr/min): Vitesse de rotation d'arbre

M_t : moment de torsion en N.m

ω : Vitesse angulaire en rad/s

F_c : Force centrifuge

n_m : Nombre de marteaux

m_m : Masse de marteaux

r_m : Rayon de marteaux

F_t : la force tangentielle en N

M_t : moment de torsion en N.m

D_m : diamètre du marteau en mm

N_{arbre} : Nombre de tours de l'arbre en tr/min

TABLE DE MATIERE

CHAPITRE I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
1.1 GENERALITE	2
1.1.1 Introduction	2
1.1.2 Définition	2
1.1.3 Performances.....	2
○ La vitesse de rotation et puissance	2
1.1.4 Les Caractéristiques techniques	3
1.2 LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT	3
1.2.1 Chambre de broyage.....	3
1.2.2 Le rotor à marteaux.....	4
1.2.3 Les principes réglages	4
1.2.4 Illustration.....	5
1.2.5 L'avantage	5
1.3 LES COMPOSANTS.....	5
1.3.1 La grille.....	5
1.3.2 La carcasse.....	6
1.3.1 La poulie et courroie.....	6
1.4 LES MATERIELS BRUTS NECESSAIRES	6
1.5 FABRICATION	6
1.5.1 Processus généraux de fabrication	6
1.5.2 Avis et connaissance nécessaire	7
1.6 LES ENTRETIENS.....	7
1.7 LES MOTEURS	8
1.8 PROPOSITION DES RECOMMANDATIONS LIES AUX PROBLEMES ET DEFAUTS	9
1.9 Conclusion	11
CHAPITRE II. SYNTHESE.....	12
2.1 Généralité	12

2.1.1	Introduction	12
	Conclusion.....	13
CHAPITRE III. DIMENSIONNEMENT ET CONCEPTION DES ELEMENTS PRINCIPALES		
14		
3.1	GENERALITE	14
3.1.1	Introduction	14
3.2	Étude théorique des éléments constituant le broyeur et choix des matériaux.....	14
3.2.1	Etude cinématique du système	14
3.2.2	Explication du schéma cinématique	15
3.2.3	Calcul de de l'énergie nécessaire pour la destruction.....	15
3.2.4	Calcul de la puissance du moteur	16
3.2.5	Choix du moteur.....	16
3.2.6	Choix de la longueur ou diamètre de marteau :.....	16
3.2.7	Illustration.....	17
3.3	Calcul RDM des éléments sollicités dans le broyage :.....	17
3.3.1	Vitesse angulaire :.....	17
3.3.2	Moment de torsion :	17
3.3.3	Force centrifuge	17
3.3.4	Force tangentielle.....	18
3.3.5	Calcul de l'effort radial.....	18
3.3.6	Matériau de l'arbre	18
3.4	Calcule de diamètre de l'arbre.....	19
3.4.1	Calcul la réaction au palier	19
3.4.2	Calcul de moment fléchissant maximal	19
3.4.3	Diagramme de moment fléchissant M_f	20
3.4.4	Calcul de diamètre de l'arbre soumise en flexion	20
3.4.5	Calcul de diamètre de l'arbre soumise en torsion	21
3.5	Vérification des dimensionnements des éléments principaux de Broyeur de riz par SolidWorks simulation	21

3.5.1	La simulation de l'arbre	21
3.5.2	La simulation de marteau	22
3.5.3	La simulation place moteur transversale	23
3.5.4	Simulation bâtis.....	24
3.6	Choix et dimensionnement des courroies de transmission	25
3.6.1	Choix du type de la courroie :.....	25
3.6.2	Coefficient de service :.....	25
3.6.3	Calcule de la puissance de service	26
3.6.4	Choix de diamètres des poulies	27
3.6.5	Puissance de base de la courroie	27
3.6.6	Calcule d'entraxe (E) :.....	28
3.6.7	Calcule de longueur primitive courroie :	28
3.6.8	Puissance admissible P_a :	29
3.6.9	Calcul du nombre de courroie nécessaire pour la transmission :.....	30
3.7	Le Palier à roulement	30
3.7.1	Définition	30
3.7.2	Choix de palier	30
3.7.3	La durée de vie de roulement.....	31
3.8	La clavette.....	31
3.8.1	Définition	31
3.8.2	Choix de clavette.....	31
3.9	CONCEPTION DU MODELE SOUS SOLIDWORKS	32
3.9.1	Introduction	32
3.9.3	Conclusion.....	36
CHAPITRE IV. REALISATION,ESSAI ET MODE D'EMPLOI DE BROEUR DU RIZ		37
4.1.	Introduction	37
4.2.	Realisation du broyeur du riz.....	37
4.3.	Essai	42

4.3.1	Préparations avant le broyage.....	42
4.3.2	Résultat après le broyage	44
4.3.3	Interpretation de resultat	45
4.4.	MODE D'EMPLOI	46
4.4.1	REPLISSAGE	46
4.4.2	BROYAGE ET TAMISSAGE	46
4.4.3	DEGAGEMENT.....	46
	REFERENCE BIBLIOGRAPHIES.....	ix
	ANNEXE	x

INTRODUCTION GENERALE

Dans le contexte du développement technologique et de l'amélioration des conditions de vie, l'agriculture joue un rôle primordial dans les économies locales. Le riz, étant l'une des principales denrées alimentaires dans de nombreuses régions du monde, nécessite des procédés de transformation efficaces pour répondre à la demande croissante. La transformation du riz, et en particulier son broyage, est une étape cruciale pour obtenir des produits de qualité adaptés à la consommation. Cependant, dans de nombreuses zones rurales, les équipements industriels sont souvent inaccessibles, et les solutions locales doivent être mises en place pour faciliter cette transformation.

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail, qui vise à concevoir et réaliser une petite unité de broyage de riz, adaptée aux besoins locaux. Ce projet, initié par notre équipe, a pour but de proposer une machine efficace, durable, et fabriquée à partir de ressources locales, tout en répondant aux exigences techniques nécessaires au bon fonctionnement du système. Pour ce faire, nous avons étudié deux systèmes de broyage existants, à savoir le broyage par marteau mobile et le broyage par marteaux fixes, avant de retenir ce dernier pour notre conception.

Le présent rapport s'articule autour des sections suivantes : dans la première partie, nous présenterons une étude bibliographique qui se concentre sur les systèmes de broyage existants et leurs caractéristiques. Ensuite, la partie consacrée à la fabrication et à l'entretien détaillera les processus mis en œuvre pour la réalisation de la machine. Dans la synthèse, nous exposerons la démarche méthodologique adoptée pour mener à bien ce projet, depuis l'idée initiale jusqu'à la concrétisation du produit. Enfin, nous aborderons le dimensionnement de la machine, où nous présenterons les calculs et les justifications techniques qui ont guidé nos choix lors de la conception.

CHAPITRE I.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 GENERALITE

1.1.1 Introduction

Ce chapitre explore les aspects essentiels à la conception d'un broyeur de riz, en se concentrant sur le système de broyage à marteaux fixes. Nous commencerons par définir les concepts clés, tels que les performances, le débit, et les caractéristiques techniques, avant de passer en revue les composants principaux de la machine. Nous aborderons ensuite les matériaux nécessaires à la fabrication, le processus de production, et les exigences d'entretien pour assurer la durabilité de l'équipement. Enfin, une analyse des moteurs utilisés et des recommandations pour améliorer la machine face aux problèmes identifiés clôturera ce chapitre.

1.1.2 Définition

Les broyeurs à marteaux nécessitent obligatoirement un entraînement motorisé. Ils sont de conception simple, polyvalents, robustes et d'un entretien très facile, mais restent exigeants en énergie. Les grains ne sont pas écrasés mais éclatés par choc avec les marteaux articulés ou marteaux fixes tournant à grande vitesse (1500 tr/min ou plus) dans une chambre de broyage(Cruz, Hounhouigan, et Havard 2020).

Le dispositif de transformation utilisé est composé d'un moulin et d'un moteur. La plupart des moulins en zone rurale fonctionnaient à l'aide de groupes électrogènes à base de diesel utilisant des moteurs à courant continu. Afin de pallier les problèmes de maintenance et de coût, liés à l'importation de ces derniers et à l'absence de pièces de rechange, les moulins artisanaux à marteaux sont de plus en plus utilisés. Ils sont simples à utiliser et s'adaptent à la nature de la céréale. La plupart de ces moulins sont constitués d'une trémie d'alimentation de forme pyramidale servant au dépôt de grains, d'une valse à grains située en bas de la trémie, permettant de régler le débit, d'une chambre de broyage et des marteaux fixés sur l'arbre du moteur(SECK et KANE 2021).

1.1.3 Performances

○ La vitesse de rotation et puissance

La vitesse de rotation des marteaux doit être d'au moins 1500 tr/min, un moteur est donc obligatoire. En dessous de cette vitesse, le broyage n'est plus possible car les grains ne sont

pas projetés contre les parois avec une vitesse suffisante pour être pulvérisés. En général, la vitesse de rotation est de 3000 tr/min. Certains fabricants utilisent la vitesse de 1500 tr/min. La farine est alors un peu plus fine qu'à 3000 tr/min pour une même grille, mais le débit diminue (Martine 1988).). Un fabricant (Electra) fait tourner le rotor à 6000 tr/min, la farine obtenue pouvant être très fine, mais la dépense d'énergie est accrue (Martine 1988). La puissance, quant à elle peut varier de 2 à 15 CV, la plage 9-11 CV étant la plus courante (Blockmans et Dewaele 2006). D'après l'ISRA, une puissance de 2 à 7 CV est suffisante pour les moulins à marteaux artisanaux (Martine 1988).

- **Débit**

Ce débit est influencé par différents facteurs suivants :

- La grille : le diamètre et le nombre de perforations.
- Le taux d'humidité : une augmentation de 1% du taux d'humidité entraîne une diminution de 10% du débit. De plus, des graines trop humides colmatent la grille et bloquent le fonctionnement du moulin.
- La puissance du moteur et la vitesse de rotation des marteaux. Pour la farine, la vitesse de rotation des marteaux recommandée est de 3500 à 4000 tr/min.
- La nature du produit à broyer (Blockmans et Dewaele 2006).

1.1.4 Les Caractéristiques techniques

Selon (Martine 1988), le broyeur a une capacité de traitement de 100 kg par heure et une puissance maximale de 3 chevaux, avec une vitesse de rotation de 3000 tours par minute. Selon (Blockmans et Dewaele 2006), le broyeur a une capacité de traitement variant entre 150 et 400 kg par heure et une puissance maximale de 5 à 10 chevaux, avec une vitesse de rotation allant de 3000 à 6000 tours par minute. Enfin, selon (GUEYE 1996), le broyeur a une capacité de traitement de 50 à 75 kg par heure et une puissance maximale de 2 à 4 chevaux, avec une vitesse de rotation de 1500 à 3000 tours par minute.

1.2 LES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

1.2.1 Chambre de broyage

L'intérieur de celle-ci ne doit pas être totalement lisse, pour que le grain entraîné par les marteaux rencontre suffisamment d'obstacles pour être pulvérisé (Blockmans et Dewaele 2006).). Les obstacles peuvent être des contre-marteaux fixes, des plaques d'usure ou des

plaques de choc, sur les parois latérales de la chambre de broyage. Dans certains modèles simples, il n'y a ni plaque de choc, ni contre-marteaux (Martine 1988).

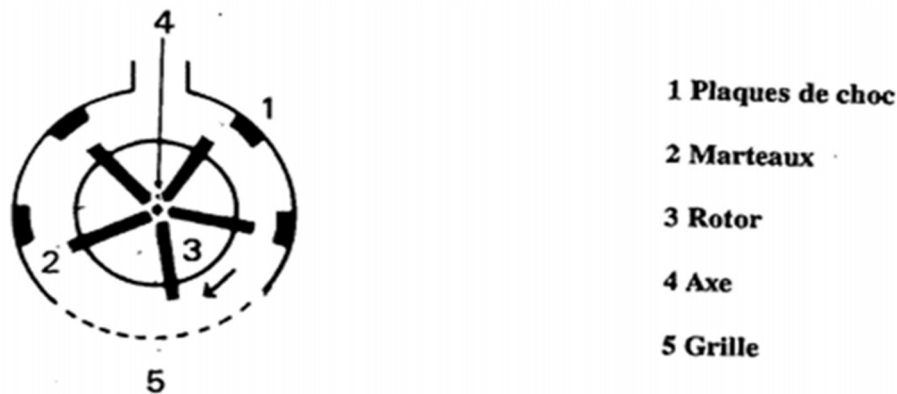


Figure I.1 Chambre de broyage(Martine 1988).Ce schéma montre la chambre de broyage et ses constituants.

1.2.2 Le rotor à marteaux

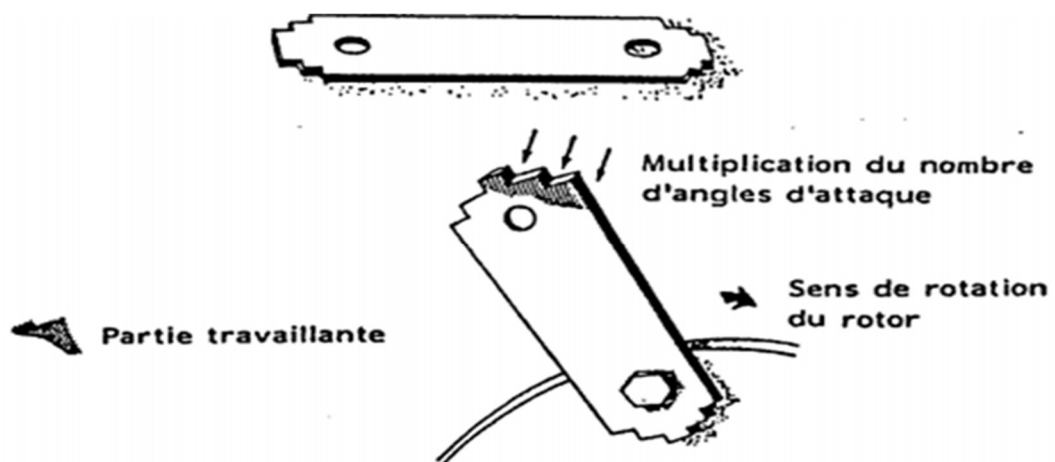
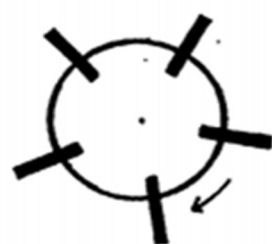


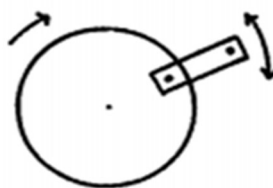
Figure I.2 Marteau(Martine 1988). Ce schéma montre les marteaux et ses angles d'attaques.

1.2.3 Les principes réglages

L'efficacité des marteaux est augmentée par la multiplication des angles d'attaque. En général, les marteaux sont réversibles, c'est-à-dire que l'on peut les retourner, de manière à changer la partie travaillante, ce qui permet d'augmenter leur durée de vie (voir fig. 3)(Blockmans et Dewaele 2006). Ces marteaux peuvent être fixes ou mobiles. Les marteaux fixes sont rigidement fixés au rotor, tandis que les marteaux mobiles peuvent tourner autour de leur axe(Martine 1988).



Rotor à marteaux fixes



Rotor à marteaux mobiles

Figure I.3 Marteau fixe, mobile (BROUTIN 2003)

1.2.4 Illustration

Ce schéma présente le rotor à marteau fixe et le rotor à marteau mobile. Le rotor qui porte les marteaux peut être composé d'une seule pièce ou de plusieurs plaques circulaires reliées par des entretoises. La première solution semble préférable car elle renforcerait l'équilibre entre le rotor et les marteaux. L'arbre est maintenu par des bagues ou des paliers. Afin de prolonger la longévité de l'arbre et d'éviter des pertes de puissance par frottement, il est préférable que les paliers soient montés sur des roulements à bille. La vitesse de rotation du rotor est habituellement de 3000 tr/min mais certains moulins fonctionnent à 6000 tr/min et nécessitent une puissance installée supérieure (Cruz, Hounhouigan, et Havard 2020).

1.2.5 L'avantage

L'avantage du rotor à marteaux fixes par rapport au rotor à marteaux mobiles est sa facilité de construction. Par contre, si un corps étranger passe par accident dans la chambre de broyage, il créera bien plus de dégâts que si les marteaux étaient mobiles, où ceux-ci « s'effaceront » au passage (Blockmans et Dewaele 2006).

Pour un broyage efficace, la vitesse périphérique doit généralement se situer entre 25 et 50 m/s.

1.3 LES COMPOSANTS

1.3.1 La grille

Les broyeurs sont équipés de grilles interchangeables dont les diamètres de perforations sont habituellement compris entre 0,7 et 1,5 mm pour les céréales, donnant des débits moyens variant de 50 à 150 kg/h. La mouture obtenue est généralement plus grossière car il n'est pas possible de repasser deux fois la farine (Cruz, Hounhouigan, et Havard 2020). Son rôle est

de ne laisser passer que les particules suffisamment fines, et ceci en fonction de la granulométrie recherchée(Blockmans et Dewaele 2006).

1.3.2 La carcasse

La carcasse doit être solide pour contenir les éléments en mouvement et absorber les vibrations générées lors du broyage. Elle doit également protéger les opérateurs de toute projection ou accident.Elle peut être réalisée en fonte ou en tôle soudée (Blockmans et Dewaele 2006). Les moulins en tôle soudée ont plus tendance à vibrer et sont moins bien insonorisés. En contrepartie, ils ont trois qualités non négligeables : la légèreté, le prix généralement moins élevé et la facilité de fabrication locale et de réparation(Martine 1988).

1.3.1 La poulie et courroie

Les poulies et courroies du broyeur et du moteur doivent être compatibles (toutes deux plates ou toutes deux trapézoïdales)(Martine 1988). La courroie plate permet de transmettre de grandes fréquences de rotation. Afin de limiter l'action de la force centrifuge sur les courroies. Mais la courroie à section trapézoïdale a une forte adhérence par coincement de la courroie dans la gorge de la poulie (environ trois fois plus que pour une courroie plate dans un même matériau)(CHEVALIER 2004).

1.4 LES MATERIELS BRUTS NECESSAIRES

La carcasse est faite en tôles, que cet artisan achète au marché de la ville, généralement auprès de ferrailleurs ou de garagistes. Il s'agit parfois de récupération de véhicules, parfois de lots d'usine déclassés en excellent état, bradés aux entreprises par les ferrailleurs. Les paliers, les roulements, la visserie, etc., ainsi que la grille (achetée au rouleau) sont disponibles dans les quincailleries des villes moyennes. Les axes et les poulies sont tournés chez des artisans(Martine 1988).

1.5 FABRICATION

1.5.1 Processus généraux de fabrication

L'un des avantages du broyeur à marteaux est de pouvoir être construit localement, dans des ateliers artisanaux équipés de postes de soudure, en utilisant des matériaux disponibles en milieu urbain et dans la majorité des zones rurales. Ce type de moulin est donc financièrement accessible, facile et peu coûteux à entretenir. Il faut toutefois avoir les ressources nécessaires pour une maintenance correcte du moteur (Blockmans et Dewaele 2006).

La fabrication artisanale est réalisée en mécano-soudé en imitant la forme des pièces des moulins importés, classiquement réalisées en fonte. Les broyeurs à marteaux fabriqués localement ont quasiment les mêmes performances que les moulins importés et sont nettement moins onéreux. Mais ils sont souvent beaucoup moins robustes, notamment lorsque les artisans utilisent des matières premières de récupération de piètre qualité (Cruz, Hounhouigan, et Havard 2020).

Le broyeur à marteaux est fabriqué à partir de pièces métalliques en tôle. La carcasse en fonte réduit les vibrations et diminue le niveau sonore. Elle présente l'inconvénient d'être lourde et donc difficile à transporter, plus chère et moins solide que les carcasses métalliques (BROUTIN 2003).

Le mode de fabrication employé utilise au mieux les compétences de l'artisan et l'outillage disponible. Les tôles sont découpées au marteau et au burin. Cette méthode fournit un résultat correct compte tenu du savoir-faire de l'artisan et de son habitude de cette technique. La carcasse est assemblée par boulonnage et/ou soudure à l'arc (Martine 1988).

1.5.2 Avis et connaissance nécessaire

C'est pour le cœur du broyeur formé de l'axe et du rotor que se rencontrent les difficultés techniques : l'axe doit être monté sur roulements, c'est indispensable vu la vitesse de rotation (3000 tr/min). Le rotor doit être équilibré : un rotor mal équilibré peut être à l'origine de vibrations importantes conduisant à l'usure prématurée du moulin. On reconnaît un rotor équilibré au fait qu'il reste immobile sur son axe dans toutes les positions. Si ce n'est pas le cas, on équilibre le rotor en disposant des masses d'équilibrage (par soudure par exemple) jusqu'à ce qu'il reste immobile dans toutes les positions.

Les marteaux doivent être solidement fixés au rotor : vu la très grande vitesse de rotation, des marteaux mal fixés risquent de se détacher. Ils peuvent même parfois traverser la chambre de broyage et provoquer des accidents. Dans ce cas, les marteaux sont fixés par boulonnage et maintenus par des cales en fer plat soudées (Martine 1988).

1.6 LES ENTRETIENS

Le nettoyage et l'entretien des broyeurs à marteaux sont beaucoup plus simples car la chambre de broyage est facilement accessible. L'entretien consiste principalement au retournement des marteaux pour user de façon équivalente les quatre angles et à leur changement après l'usure totale. La durée de vie des marteaux correspond en moyenne à 50 tonnes de mouture. Il faut par ailleurs équilibrer les marteaux avec soin, de manière à limiter

l'usure des paliers causée par les vibrations. La grille peut également être endommagée, généralement par le passage d'un corps étranger (Cruz, Hounhouigan, et Havard 2020).

1.7 LES MOTEURS

Il existe trois types de moteur pouvant être couplés avec un broyeur : à essence, diesel, et électrique. Le tableau suivant donne une comparaison de ces moteurs :

	Moteur diesel	Moteur essence	Moteur électrique
Achat	Le plus cher	Intermédiaire	Le moins cher
Fonctionnement et entretien	Gasoil, carburant répandu et peu coûteux	Essence, carburant répandu mais plus cher que le gasoil	Electricité, énergie la moins chère mais réservée aux zones urbaines, à moins de disposer de panneaux solaires. Le passage par un groupe électrogène diminue le rendement par rapport à l'utilisation directe d'un moteur thermique
	Le plus complexe. Formation poussée des meuniers à prévoir	Plus simple que le moteur diesel mais formation tout aussi indispensable	Le plus simple
Robustesse	Le plus robuste	Plus fragile que le moteur diesel. Maniement plus délicat pour éviter les pannes.	Eviter les surchauffes (durée d'utilisation trop longue, moteurs sous-dimensionnés).
Pièces de rechange	Moteur très répandu en milieu rural sahélien. Les réseaux de distribution de pièces existent.	Moins répandu que le moteur diesel, pièces plus difficiles à obtenir.	

Tableau I. 1 Comparaison de types de moteurs

1.8 PROPOSITION DES RECOMMANDATIONS LIES AUX PROBLEMES ET DEFAUTS

Types de problèmes	Problèmes	Causes	Recommandations
Fonctionnel	Étanchéité (pertes de produit moulu)	Joint du clapet de fermeture de la chambre de mouture non étanche	Utilisation d'un joint en caoutchouc adéquat
Fonctionnel	Granulométrie du produit obtenu fixe	Taille des trous du tamis fixe et tamis non démontable	Remplacer le tamis par des tamis démontables ayant des tailles de trous différents
Fonctionnel	Jeu entre marteaux et tamis non réglable	Marteaux et tamis fixes	Mettre en place plusieurs points de fixation des marteaux permettant de régler ce jeu en fonction des graines et ajouter des obstacles dans la chambre de broyage pour faciliter le broyage
Fonctionnel	Stabilité de la machine en marche	Les vibrations du système en marche (moteur, poulie courroie, rotor, ...)	Utiliser un support antivibratoire acier taraudé. Il amortira les secousses et pourra être fixé au sol pour plus de stabilité
Énergétique	Puissances consommées à vide élevées	Le système poulie courroie entraîne des pertes (rendement	Changer le système poulie courroie et utiliser un accouplement à

		faible et poulies non alignées)	plateaux qui a un meilleur rendement
Ergonomique	Gestion du démarrage et de l'arrêt	Absence de pupitre de commande	Concevoir un pupitre de commande qui facilitera l'utilisation de la machine
Ergonomique	Protocole d'usage	Indisponibilité des documents techniques	Faire des tests sur plusieurs céréales avec un protocole bien définit puis proposer un manuel d'utilisation détaillé
Ergonomique	Maintenance des pièces	Absence de standardisation	Donner les documents permettant d'identifier les pièces au cas où elles devraient être changées

Tableau I. 2 Problèmes, causes et recommandations(FAYE 2021).

Ce tableau montre les causes, les problèmes et les recommandations des différents fabriquent pour améliorer la machine de broyage.

1.9 Conclusion

L'étude bibliographique menée dans ce premier chapitre a permis de dresser un panorama complet des éléments techniques et fonctionnels liés à la conception d'un broyeur de riz utilisant un système de broyage à marteaux fixes. En passant en revue les performances, le débit, et les caractéristiques techniques, nous avons pu identifier les composants essentiels ainsi que les matériaux nécessaires pour la fabrication. Cette analyse nous a également permis de mieux comprendre les exigences en matière d'entretien et de choix de moteur, tout en mettant en lumière les points à améliorer pour optimiser le système. Les connaissances acquises ici serviront de base solide pour les étapes suivantes de notre projet, notamment pour le dimensionnement et la mise en œuvre pratique de la machine.

CHAPITRE II.

SYNTHESE

2.1 Généralité

2.1.1 Introduction

La conception d'un broyeur de riz, particulièrement destiné à la transformation du riz en farine, est un processus technique qui nécessite une compréhension approfondie des principes mécaniques et des besoins spécifiques du broyage. Ce document présente une synthèse des étapes clés impliquées dans la conception d'un broyeur, en mettant l'accent sur les éléments essentiels tels que le débit, la puissance du moteur, la vitesse de rotation, ainsi que les dimensions et les caractéristiques des composants principaux comme les poulies, les courroies, et l'arbre. En s'appuyant sur des méthodes établies et des normes reconnues, ce travail vise à offrir une base solide pour la création d'un broyeur efficace et durable.

D'après les différents livres, la conception d'un broyeur de riz pour la production de farine repose sur plusieurs étapes cruciales, basées sur une analyse technique rigoureuse et l'application de normes industrielles reconnues.

- **Connaître le débit** : Cela permet de déterminer la quantité de matière à broyer par unité de temps
- **Déterminer la puissance du moteur** : En fonction du débit, la puissance nécessaire du moteur électrique est calculée pour assurer un broyage efficace.
- **Choix de la vitesse de rotation** : La vitesse de rotation du moteur doit être adaptée au type de broyage souhaité.
- **Définir les dimensions des poulies et courroies** : Le choix des poulies et des courroies se fait en se basant sur les abaques fournis par TEXROPE ou selon les normes ISO 4183
- **Choisir le diamètre de l'arbre** : Le diamètre de l'arbre est déterminé en fonction des forces et des couples exercés. Il doit être suffisamment robuste pour résister aux contraintes mécaniques pendant le fonctionnement.
- **Conception de la carcasse** : Elle peut être réalisée en fonte ou en tôle soudée
- **Développer le bâti** : Il doit être conçu pour supporter le poids et les vibrations du broyeur tout en permettant un accès facile pour la maintenance et les réparations.

Ce travail est commencé par connaître le débit, puis déterminer la puissance et la vitesse de rotation du moteur électrique, le diamètre de l'arbre. Ensuite, calculer les dimensions des poulies et courroies selon les normes ISO 4183, pour enfin procéder à la conception de la

carcasse et du bâti. Cette approche méthodique, basée sur la méthode de (BELABED 2020), garantit la réalisation d'un broyeur de riz performant, conforme aux exigences industrielles et capable de produire de la farine de qualité de manière fiable et efficace.

Conclusion

En conclusion, la conception d'un broyeur de riz repose sur une série d'étapes méthodiques qui garantissent non seulement l'efficacité du broyage, mais aussi la durabilité de la machine. De la détermination du débit à la conception du bâti, chaque étape est cruciale pour assurer un fonctionnement optimal. Ce travail, basé sur des méthodes éprouvées, notamment celle de (BELABED 2020), propose une approche structurée qui intègre des normes industrielles telles que l'ISO 4183. La réussite de la conception dépend de l'attention portée à chaque détail technique, garantissant ainsi une machine capable de répondre aux exigences de production tout en étant facile à entretenir et à utiliser.

3.1 GENERALITE

3.1.1 Introduction

Le dimensionnement d'un broyeur de riz est une étape fondamentale dans la conception de la machine, car il détermine sa capacité à répondre efficacement aux exigences de production. Ce processus implique le choix et le calcul précis des différents composants tels que les poulies, les marteaux, les courroies, l'arbre, et le moteur. Chacun de ces éléments doit être soigneusement dimensionné pour assurer une transmission optimale de la puissance, une résistance aux contraintes mécaniques, et une performance globale élevée du broyeur. Le dimensionnement, basé sur des méthodes d'ingénierie éprouvées et des normes industrielles, vise à garantir la fiabilité, la durabilité et l'efficacité du broyeur en opération.

3.2 Étude théorique des éléments constituant le broyeur et choix des matériaux

3.2.1 Etude cinématique du système

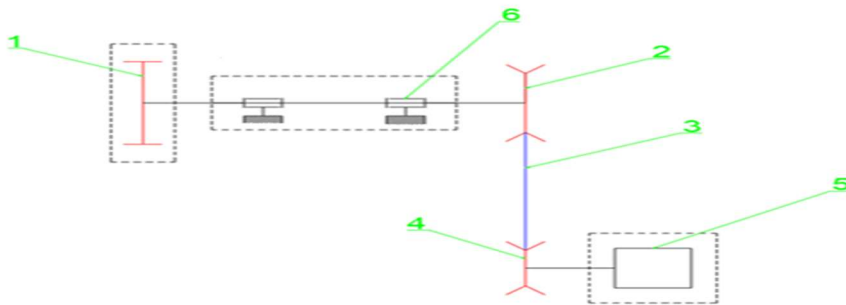


Figure II. 1 Schéma cinématique du broyeur

Repère	Désignation
1	Marteaux
2	Poulie réceptrice
3	Courroie
4	Poulie motrice
5	Moteur

Tableau II. 1 Nomenclature

3.2.2 Explication du schéma cinématique

Le moteur est la source d'énergie et de puissance de la machine, la puissance du moteur est transmise à l'arbre contenant les marteaux de broyeur par le biais d'un système de transmission poulie-courroie que nous allons dimensionner plus tard. Ce système sert également à réduire la vitesse de rotation sur l'arbre récepteur afin d'augmenter le couple pour un meilleur rendement du broyage. Le guidage en rotation est assuré par des paliers que nous dimensionnons plus tard dans ce chapitre.

3.2.3 Calcul de de l'énergie nécessaire pour la destruction

La puissance consommée par le broyeur à marteau dépend, de la dureté du matériau à broyer et de la capacité de cet appareil. Principalement elle Peut être déterminée à l'aide de l'index W du travail de destruction d'après Bond(BELABED 2020).

Suivant l'hypothèse de Bond : $E_B = k_B \left(\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right)$

En désignant par w (index de travail) l'énergie nécessaire pour la destruction de l'unité de masse du riz.

Minerai, roche ou aliment	Densité, g/cm ³	Index W en kWh/t
Argile	2,84	20,3
Basalte	2,51	7,0
Barytine	2,91	19,0
Potasse	2,4	3,9
Calcaire	2,2	9,8
Charbon	1,4	14,3
Riz	0.8	0.21
Coke	1,31	16,7
Grès	2,69	7.8
Diorite	2,82	23,2

Tableau II. 2 Index de travail de la destruction d'après Bond(Petrova et Pilov 2013)

On a : $K_B = 10w = 10 \times 0.21 = 2.1 \text{ kWh /t}$

$$E_B = k_B \left(\frac{1}{\sqrt{0.1}} - \frac{1}{\sqrt{3.4}} \right)$$

$$P = Q.E_B = 0.04 \times 55.75 = 2.23 \text{ Kw}$$

Données de départ : Q = 40 Kg/h

D=0.1 mm

d= 3.4 mm

3.2.4 Calcul de la puissance du moteur

$$P_m = \frac{p}{\eta} = \frac{2.23}{0.75} = 2.98 \text{ KW}$$

3.2.5 Choix du moteur

Selon les calculs, la puissance motrice nécessaire pour le bon fonctionnement de la machine est de 2.98 KW(≈3KW). En se référant aux catalogues moteurs disponibles, on devrait choisir un moteur asynchrone triphasée de type YC112 M-2 avec une puissance de 3 KW.

电机型号 Type No.		功率 kW	额定电流 A	转速 r/min	效率 Eff. %	功率因数 P.F	堵转转矩 额定转矩 Tst Tn	堵转电流 Ist
YC								
				同步转速 3000r/min				
YC711-2		0.18	1.9	2800	60	0.72	3.0	12
YC711-2		0.25	2.4	2800	64	0.74	3.0	15
YC801-2		0.37	3.4	2800	65	0.77	2.8	21
YC802-2		0.55	4.7	2800	68	0.79	2.8	29
YC90S-2		0.75	6.1	2800	70	0.80	2.5	37
YC100L-2		1.1	8.7	2800	72	0.80	2.5	60
YC100L1-2		1.5	11.4	2850	74	0.81	2.5	80
YC100L2-2		2.2	16.5	2850	75	0.81	2.2	120
YC112M-2		3.0	21.9	2850	76	0.82	2.2	150
YC132S-2		3.7	26.6	2850	77	0.82	2.2	175
				同步转速 1500r/min				
YC711-4		0.12	1.9	1400	50	0.58	3.0	9
YC712-4		0.18	2.5	1400	53	0.62	2.8	12
YC801-4		0.25	3.1	1400	58	0.63	2.8	15
YC802-4		0.37	4.2	1400	62	0.64	2.5	21
YC803-4		0.55	5.9	1400	66	0.69	2.5	22
YC90S-4		0.55	5.5	1400	66	0.69	2.5	29
YC90L1-4		0.75	6.9	1400	68	0.73	2.5	37
YC100L1-4		1.1	9.6	1440	71	0.74	2.5	60
YC100L2-4		1.5	12.5	1440	73	0.75	2.5	80
YC112M-4		2.2	17.9	1400	74	0.76	2.2	120
YC132S-4		3.0	23.6	1400	75	0.77	2.2	150
YC132M-4		3.7	28.4	1400	760	0.79	2.2	175

Tableau II. 3 Caractéristiques du moteur YC. (« YC Series Single phase Induction Electric Motor (YC112M-4, B3) », s. d.)

3.2.6 Choix de la longueur ou diamètre de marteau :

La vitesse de rotation de marteaux varie entre 1500 tr/min à 6000 tr/min(Martine 1988). Dans cette étude nous avons choisi 3342 tr/min.

$$m_m = 3,2 \text{ Kg/m}$$

$$= 3,2 \times 0,105 = 0,336 \text{ Kg}$$

$$\text{Donc } F_c = 3481,8 \text{ N}$$

3.3.4 Force tangentielle

$$M_t = F_t \cdot \frac{D_m}{2} \quad F_t = \frac{2M_t}{D_m} = \frac{2 \times 9,54}{210 \cdot 10^{-3}} = 95,4 \text{ N}$$

$$F_t = 95,4 \text{ N}$$

3.3.5 Calcul de l'effort radial

Avec :

F_t : la force tangentielle en N

$$F_r = \frac{F_t}{2} = \frac{95,4}{2} = 47,7 \text{ N}$$

$$F_r = 47,7 \text{ N}$$

3.3.6 Matériau de l'arbre

L'acier au carbone SAE 1040 est utilisé pour conception de l'arbre, ce choix a pour des raisons suivantes : il a une teneur élevée en carbone et peut être durci par traitement thermique. Il est caractérisé par une très bonne résistance élastique, usinable, peu coûteux et disponible sur le marché. Les caractéristiques sont indiquées sur le tableau II.1

Désignation du matériau	Résistance élastique MPa	Résistance à la traction MPa	Dureté Brinell	Utilisations
SAE 1040	320-530	570-640	120-180	Arbre

Tableau II. 5 Caractéristiques mécaniques des matériaux des pièces du broyeur.

3.4 Calcul de diamètre de l'arbre

3.4.1 Calcul la réaction au palier

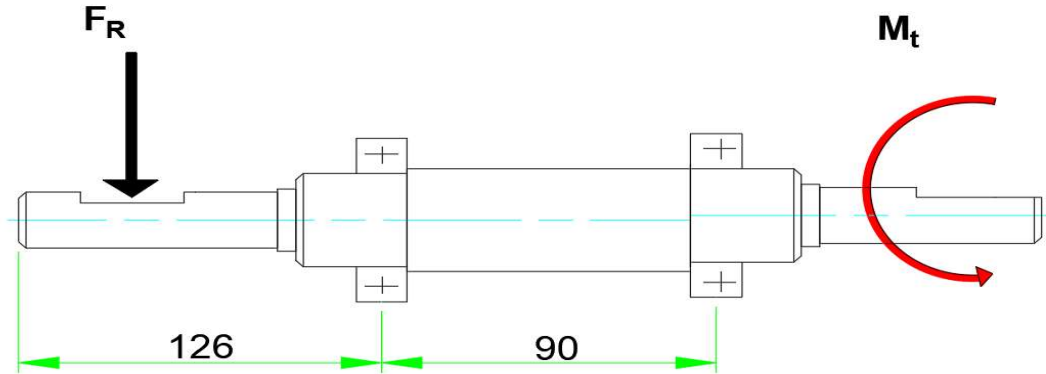


Figure II. 2 Sollicitation soumise à l'arbre

En appliquant les principes fondamentaux de la statique

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0$$

$$\sum M/A = 0$$

Pour les forces en les projetant sur l'axe Oy, et les moments par rapport au point en A et On aura :

$$R_A + R_B - F_R = 0$$

$$R_B 90 - F_R 126 = 0$$

Avec :

F_R : Force radial exercée sur l'arbre

M_t : Moment de torsion appliquée à l'arbre

R_A : Réaction au point A de palier

R_B : Réaction au point B de palier

$$R_B = \frac{47,7 \times 126}{90} = 66,78 \text{ N}$$

$$R_A = F_R - R_B = 47,7 - 66,78 = -19,08 \text{ N}$$

3.4.2 Calcul de moment fléchissant maximal

On a

Tronçon 1

$$0 \leq x \leq 100$$

$$M_1 = -F_R x = -47,7x$$

x	0	126
M ₁	0	-6010,2

Tronçon 2

$$100 \leq x \leq 200$$

$$M_2 = -F_R x + R_A(x - 100) = -47,7x + 19,08(x - 126)$$

x	126	216
M ₂	-6010,2	-12020

3.4.3 Diagramme de moment fléchissant M_f

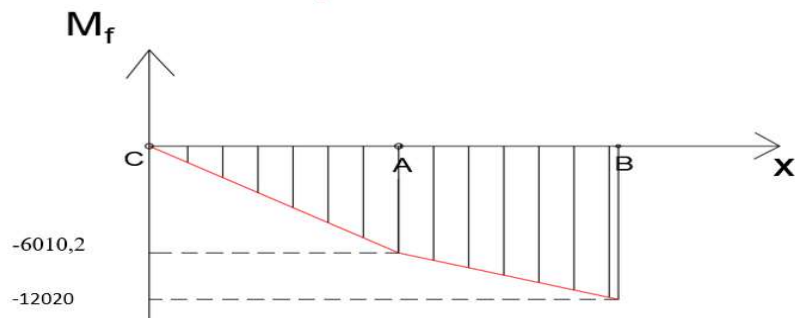


Figure II. 3 Diagramme de moment fléchissant

3.4.4 Calcul de diamètre de l'arbre soumise en flexion

$$\frac{M_{fmax}}{\frac{I_{Gz}}{V}} \leq \sigma_p \quad I_{Gz} = \frac{\pi R^4}{4} \quad V = R \quad \sigma_p = \frac{\sigma_e}{s}$$

$$R \geq \left(\frac{4M_{fmax}}{\pi \cdot 150} \right)^{\frac{1}{3}} = 4.67$$

$$D \geq 9.34mm$$

On prend la valeur supérieure de 9.34 et proximité à l'existant, D= 18 mm

3.4.5 Calcul de diamètre de l'arbre soumise en torsion

$$\sigma_{max} = \frac{M_t V}{I_O} \leq \sigma_P \quad I_O = \frac{\pi \cdot R^4}{2} \quad \sigma_P = \frac{\sigma_e}{s} = \frac{450}{3} = 150 MPa$$

$$R \geq \left(\frac{2M_t}{\pi \cdot \sigma_P} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,45$$

$$D \geq 5 \text{ mm}$$

On prend la valeur supérieure de 5 mm, c'est D=18mm à 22 mm

On prend : $\sigma_e = 450 MPa$

– s : Coefficient de sécurité

On prend s=3 pour la bonne mécanique

3.5 Vérification des dimensionnements des éléments principaux de Broyeur de riz par SolidWorks simulation

SolidWorks simulation nous offre un environnement de test virtuel intuitif pour les mouvements de types linéaire statique basés sur le temps et la simulation de fatigue. Nous pouvons répondre ainsi répondre aux problèmes d'ingénierie courants avec une solution intégré de CAO 3D SolidWorks.

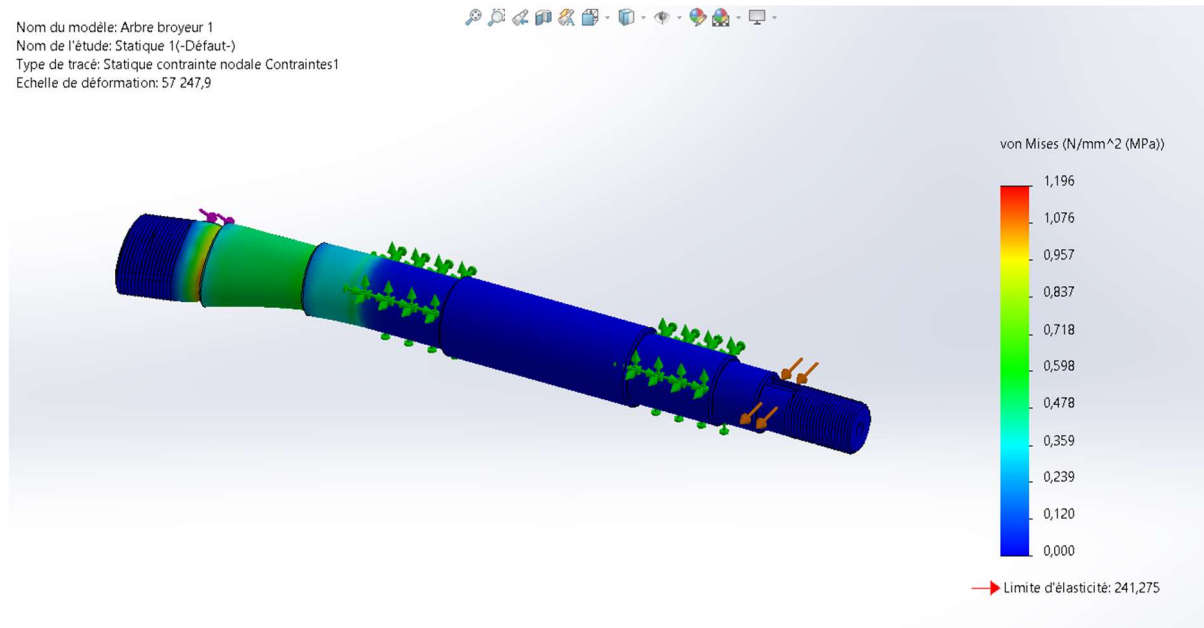
3.5.1 La simulation de l'arbre

Pour l'arbre, on a utilisé le matériau dur, c'est l'Acier allié inoxydable.

Propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	190000	N/mm ²
Coefficient de poisson	0,26	NA
Module de cisaillement	78000	N/mm ²
Masse volumique	7300	Kg/m
Limite d'élasticité	241,275	N/mm ²

Tableau II. 6 Caractéristique de matériau Acier inoxydable

Nom du modèle: Arbre broyeur 1
 Nom de l'étude: Statique 1(-Défaut-)
 Type de tracé: Statique contrainte nodale Contraintes1
 Echelle de déformation: 57 247,9



Résultat de l'étude de l'arbre

Contrainte de Von mises

Figure II. 4 Simulation de l'arbre

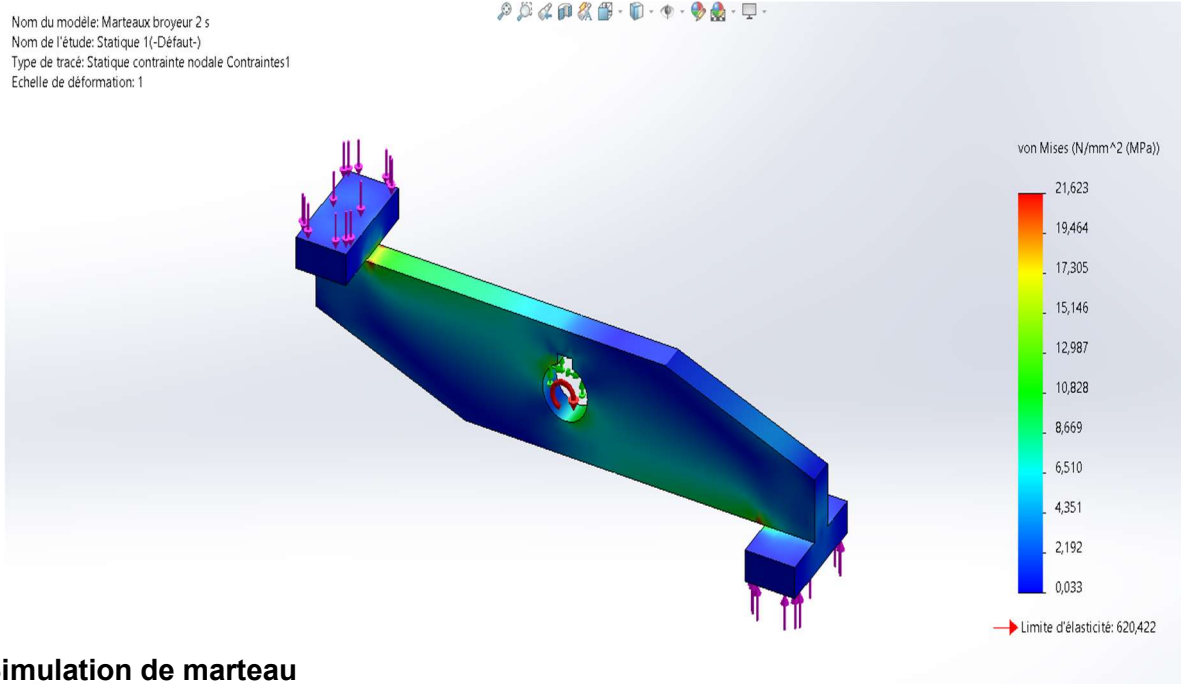
On voit que la contrainte de Von mises est inférieure à la limite élastique ce qui vérifie la condition de la résistance de l'arbre.

3.5.2 La simulation de marteau

Pour le marteau, on a utilisé le matériau dur, c'est l'acier allié

Propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	210000	N/mm ²
Coefficient de poisson	0,28	NA
Module de cisaillement	79000	N/mm ²
Masse volumique	7700	Kg/m
Limite d'élasticité	620,422	N/mm ²

Tableau II. 7 Caractéristique de matériau Acier allié



Simulation de marteau

Résultat de l'étude de marteau

Contrainte de Von mises

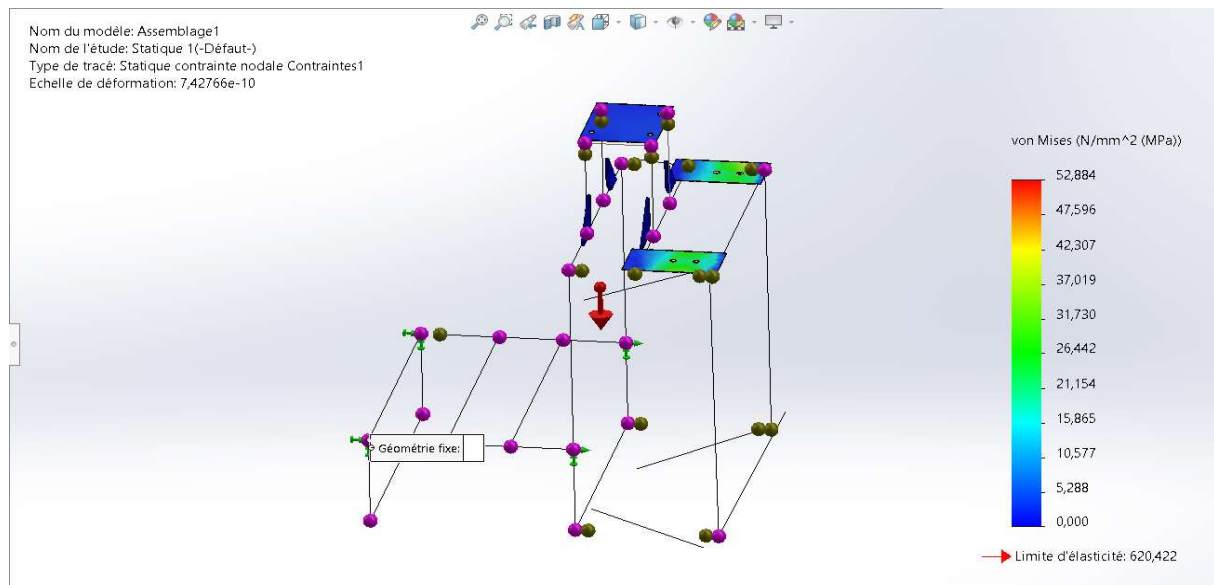
Figure II. 5 Simulation de marteau

3.5.3 La simulation place moteur transversale

Poids moteur 58,7KG

Propriété	Valeur	Unités
Module d'élasticité	210000	N/mm ²
Coefficient de poisson	0,28	NA
Module de cisaillement	79000	N/mm ²
Masse volumique	7700	kg/m
Limite d'élasticité	620,422	N/mm ²

Tableau II. 8 Caractéristique de matériau Acier allié

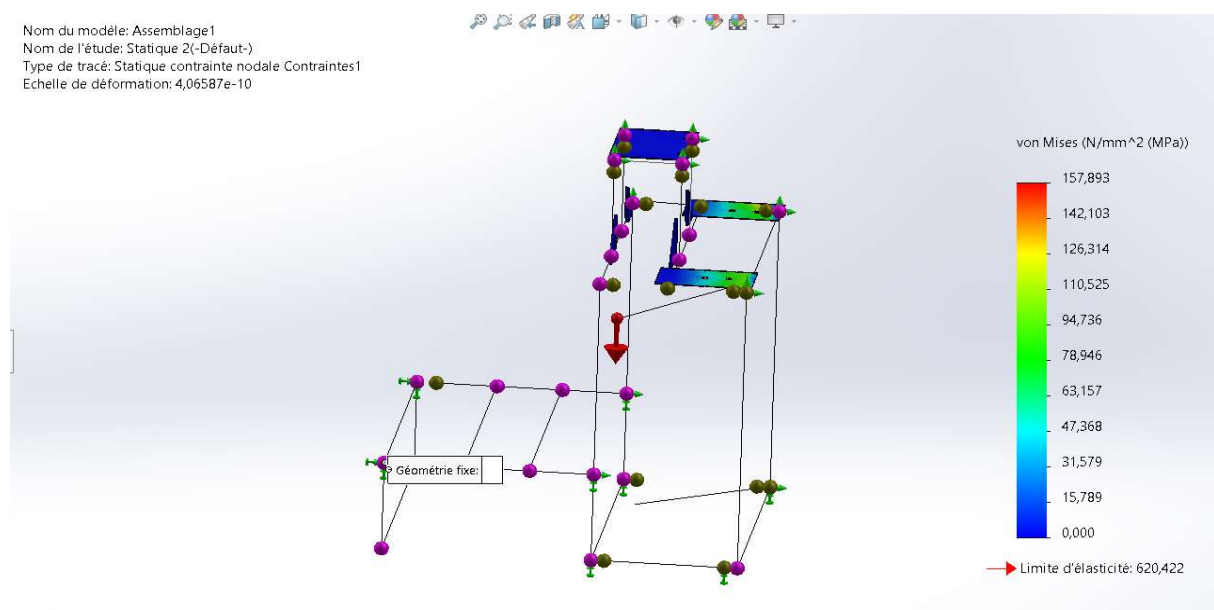


Contrainte de Von mises

Figure II. 6 Simulation de place de moteur transversale

3.5.4 Simulation bâtis

Pour le bâti, on a utilisé le matériau de construction, c'est l'acier allié



Contrainte de Von mises

Figure II. 7 Simulation bâtis

3.6 Choix et dimensionnement des courroies de transmission

3.6.1 Choix du type de la courroie :

Ce choix est effectué en se basant sur les normes ISO 4183. Ces normes tiennent compte de la vitesse de rotation de la petite poulie et de la puissance moteur.

On a $P=2,98$ KW

$N_e = 2850$ tr /min

$N_s = 3000$ tr/min

Durée de travail est de 8 h/j

3.6.2 Coefficient de service :

Le coefficient de service K_s est déterminé par rapport aux conditions qui sont le type de moteur, la durée de fonctionnement par jour et la nature du couple.

Transmission avec légers à coups et choc modérés. Service normale 6 à 16h /j

1. Valeur du coefficient de service K_s				
	service léger 0 à 6 h/jour	service normal 6 à 16 h/jour	service dur 16 à 24 h/jour	service très dur en continu
transmission uniforme sans à-coups	1,0	1,2	1,4	1,6
transmission avec légers à-coups et chocs modérés	1,1	1,3	1,5	1,8
transmission avec à-coups et chocs élevés *	1,2	1,4	1,7	2,1
* avec des inversions de sens, des démarrages fréquents sous forts couples				

Tableau II. 9 Coefficient de service K_s (Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183, s. d.)

On prend : Le coefficient de service est alors : $K_s = 1,3$

3.6.3 Calcul de la puissance de service

$$P_s = P \cdot K_s = 3 \times 1.3 = 3.9 \text{ KW et } N_e = 2850 \text{ tr/min}$$

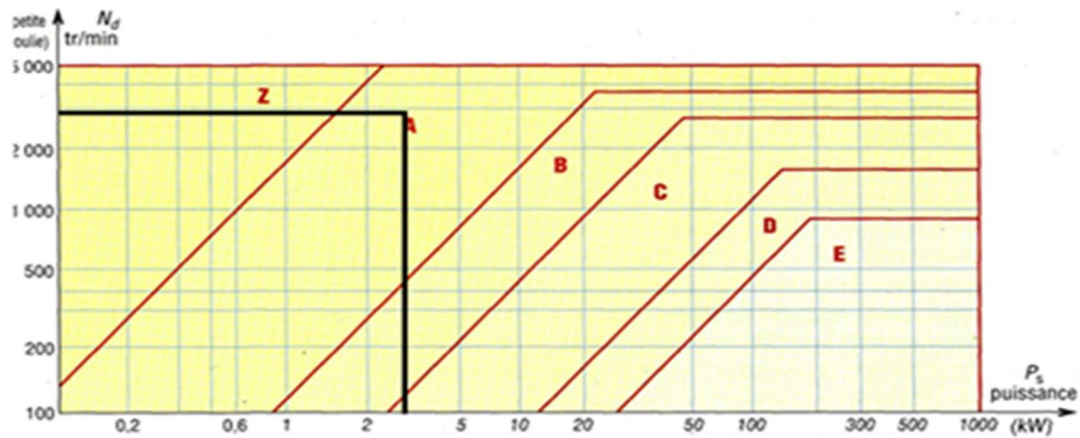


Figure II. 8 Gamme des puissances transmissibles par type de courroie (Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183, s. d.)

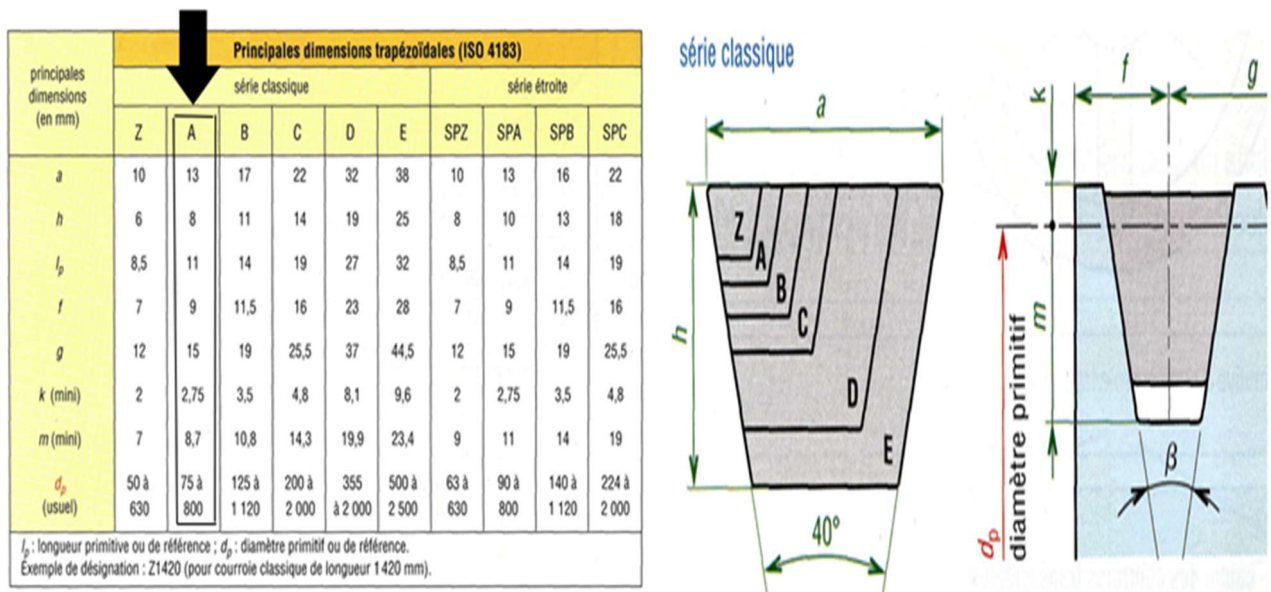


Figure II. 9 Les caractéristiques géométriques des courroies (Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183, s. d.)

A partir du **Figure II. 7**, on a opté une courroie classique de type : A, les caractéristiques géométriques sont présentées dans la figure II.1

3.6.4 Choix de diamètres des poulies

2. Diamètres primitifs d_p et D_p recommandés (mm) pour les poulies trapézoïdales ISO 4183	
Z SPZ	50*, 56*, 63, 71, 75, 80, 90, 100, 112, 125, 132, 140, 150, 160, 180, 200, 220, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 500, 630
A SPA	75*, 80*, 85*, 90, 95, 100, 106 , 112, 121, 125, 132, 140, 150, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 300, 315, 355, 400, 450, 500, 630, 710, 800
B SPB	125*, 132*, 140, 150, 160, 170, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1 000, 1 120
C SPC	200*, 212*, 224, 236, 250, 265, 280, 300, 315, 335, 355, 400, 450, 500, 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1 000, 1 120, 1 250, 1 400, 1 600, 2 000
D	355, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 560, 600, 630, 710, 750, 800, 900, 1 000, 1 060, 1 120, 1 250, 1 400, 1 500, 1 600, 1 800, 2 000
E	500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 800, 900, 1 000, 1 120, 1 250, 1 400, 1 500, 1 600, 1 800, 1 900, 2 000, 2 240, 2 500
* : uniquement courroies classiques Z, A, B et C	

Tableau II. 10 Diamètre primitive de poulies (Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183, s. d.)

Comme le type de la courroie est de type A, on choisit : $d_p=106$ mm (Tableau II.6)

$$r = \frac{N_s}{N_e} = \frac{D_p}{d_p} \quad \frac{3000}{2850} = \frac{106}{d_p}$$

$$d_p = 100,7 \text{ mm}$$

On prend : $d_p = 100$ mm, pour la valeur normalisée

3.6.5 Puissance de base de la courroie

Avant de calculer la puissance de base de la courroie, calculé d'abord la vitesse linéaire V de la courroie :

$$V = \frac{\pi \cdot N \cdot d_p}{60} = 15,7$$

$$V = 15.7 \text{ m/s}$$

4. Puissance de base P_b en kW des courroies trapézoïdales classiques													
type courroie	diamètre primitif	vitesse linéaire V de la courroie (m/s)					type courroie	diamètre primitif	vitesse linéaire V de la courroie (m/s)				
		5	10	15	20	25			5	10	15	20	25
Z	50	0,45	0,72	0,85	—	—	C	180	3,92	6,10	7,33	8,32	—
	60	0,62	1,05	1,35	—	—		210	4,59	7,38	9,40	10,86	11,76
	70	0,73	1,29	1,70	1,94	—		240	4,99	8,31	10,82	12,75	14,14
	80	0,83	1,48	1,97	2,30	2,41		280	5,50	9,27	12,26	14,70	16,50
	90	0,90	1,61	2,18	2,58	2,76		320	5,83	9,96	13,34	16,10	18,29
	100	0,95	1,72	2,37	2,80	3,04		360	6,14	10,56	14,16	17,19	19,69
	110	1,00	1,82	2,48	2,99	3,27	430	6,55	11,25	15,32	18,68	21,43	
A	85	1,25	2,04	2,66	3,01	—	D	290	8,92	13,44	15,95	16,80	—
	100	1,42	2,37	3,12	3,99	4,10		320	9,84	15,41	18,90	20,74	20,92
	115	1,55	2,64	3,52	4,21	4,73		360	10,94	17,50	22,07	24,96	26,19
	130	1,65	2,85	4,04	4,60	5,22		400	11,80	19,20	24,61	28,33	30,42
	150	1,75	3,03	4,10	4,80	5,72		460	12,78	21,18	27,55	32,29	34,37
	170	1,82	3,19	4,33	5,00	6,10		520	13,58	22,71	29,85	35,35	39,20
	190	1,87	3,30	4,54	5,55	6,39		580	14,16	23,96	31,64	37,76	42,80
B	120	2,11	3,23	4,23	4,80	—	E	440	10,97	18,85	24,69	28,33	29,44
	140	2,35	3,95	5,02	5,83	6,37		480	11,89	20,65	27,39	31,92	33,91
	160	2,57	4,03	5,61	6,63	7,37		520	12,62	22,15	29,63	34,95	37,68
	180	2,72	4,39	6,09	7,24	8,14		600	13,84	24,57	33,28	39,86	43,75
	200	2,81	4,81	6,42	7,71	8,75		700	14,94	27,26	36,66	44,28	49,35
	220	2,92	4,89	6,73	8,13	9,24		800	15,77	28,50	39,18	47,60	53,56
	250	3,01	5,06	6,89	8,64	8,85		950	16,82	30,40	42,00	51,40	59,13

Tableau II. 11 Puissance de base (Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183, s. d.)

La puissance de base est égale à $P_b = 3,12$ KW

3.6.6 Calcule d'entraxe (E) :

$$\frac{1}{2}(Dp + dp) + dp \leq a < 3(Dp + dp)$$

$$a \geq \frac{1}{2}(Dp + dp) + dpe$$

$$a \geq 203 \text{ mm}$$

$$a < 3(Dp + dp)$$

Limite supérieur $a < 618 \text{ mm}$

Pour des raisons d'encombrement, on retient $a = 450 \text{ mm}$

3.6.7 Calcule de longueur primitive courroie :

$$L_p = 2a + 1,57(Dp + dp) + \frac{(Dp - dp)}{4a}$$

Avec L_p longueur primitif de courroie en mm

$$L_p = 1223,43 \text{ mm}$$

Pour une longueur primitive normalisée $L_p = 1225 \text{ mm}$ (Référence)

$$K_l = 0.9 \text{ (graphe 2 avec } L_p = 1223,43 \text{ mm)}$$

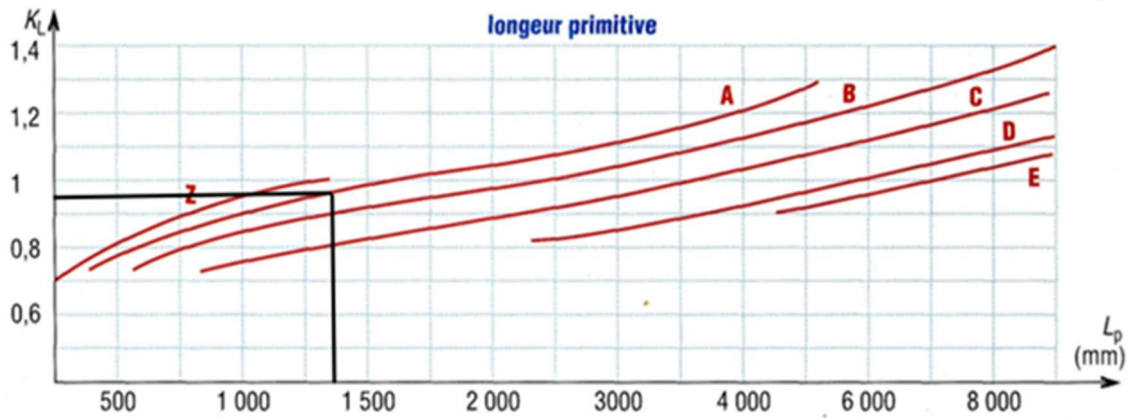


Figure II. 10 Longueur primitive (Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183, s. d.)

- Angle d'enroulement de le poulie motrice :

$$\theta_d = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \frac{(Dp - dp)}{2a}$$

$$\theta_d = 179,23^\circ$$

$$K_\theta = 0,99 \text{ (graphe 3 avec } \theta = 179,23^\circ \text{)}$$



Figure II. 11 Angle d'enroulement (Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183, s. d.)

3.6.8 Puissance admissible Pa :

$$Pa = P_b \cdot K_I \cdot K_\theta = 3,12 \times 0,9 \times 0,99 = 2.8 \text{ KW}$$

$$Pa = 2.8 \text{ KW}$$

3.6.9 Calcul du nombre de courroie nécessaire pour la transmission :

$$Nbr_c = \frac{P_s}{P_a} = \frac{3,9}{2,8} = 1,3 \cong 1$$

$$Nbr_c = 1$$

3.7 Le Palier à roulement

3.7.1 Définition

Entre l'arbre et l'alésage, un ensemble préfabriqué par des constructeurs spécialisés est utilisé. Il s'agit du palier à billes, qui assure le guidage en rotation de l'arbre.

3.7.2 Choix de palier

Le choix de palier dépend de la vitesse de rotation de l'arbre et de la charge supportée par le palier.

Arbre : $N_{\text{arbre}} = 3000 \text{ tr/min}$, Charge radiale F_r .

Rlt. de base	Diam. d'arbre		tr/ mn max	Charges élevées et hautes vitesses				tr/ mn max	Applications normales			
	mm	pouces		Tolérance s/arbre ISO h6					Tolérance s/arbre ISO h7			
				microns		0,0001 pouce			microns		0,0001 pouce	
				maxi	mini	maxi	mini		maxi	mini	maxi	mini
1017	12-17	½-⅞	7000	0	-11	0	-4	5000	0	-18	0	-7
1020	20	¾	6700	0	-13	0	-5	4200	0	-21	0	-8
1025	25	1⅙-1	6250	0	-13	0	-5	3600	0	-21	0	-8
1030	25-30	⅞-1¼	5300	0	-13	0	-5	3100	0	-21	0	-8
1035	30-35	1⅛-1⅞	4500	0	-16	0	-6	2700	0	-25	0	-10

Tableau II. 12 Tolérance sur l'arbre et vitesse admissible

G	Dimensions (mm)									Capacités de charge ISO		Vitesse max. tr/mn	Poids (approx.) kg
	A	A1	B	B1	B2	B3	S	s1	s2	dynamique Cor Newtons	statique Newtons		
10	30,5	20,5	27,38	-	28,63	-	11,58	6,53	-	9550	4800	7000	0,5
10	32,5	22,5	31,00	25,80	31,03	43,73	12,73	7,53	17,13	12800	6650	6700	0,6
10	36,5	24,5	34,10	27,30	31,03	44,43	14,33	7,53	17,53	14000	7880	6250	0,7
12	41,5	27,5	38,10	31,20	35,73	48,43	15,93	9,03	18,33	19500	11300	5300	1,3
12	44,5	30,5	42,90	34,90	38,93	51,13	17,53	9,53	18,83	25700	15300	4500	1,7
12	51,0	34,5	49,20	41,20	43,73	56,33	19,03	11,03	21,43	32500	19900	4000	2,1
12	54,0	35,0	49,20	41,20	43,73	56,33	19,04	11,04	21,43	32500	20500	3700	2,8
16	55,0	36,0	51,60	43,50	43,73	62,73	19,04	11,04	24,64	35000	23200	3400	3,2
16	60,0	39,5	55,60	-	-	71,42	22,24	-	27,84	43500	29200	3100	4,0
16	70,0	46,0	65,10	-	-	77,84	25,44	-	31,04	48000	33000	2800	5,9

Tableau II. 13 Tableau : Paliers à semelle Self-Lube en fonte séries NP.

3.7.3 La durée de vie de roulement

La durée de vie nominale d'un roulement NP30, soumis à une charge radiale constante de 47,7 N à une vitesse de 3000 tr/min, est calculée en utilisant la capacité de charge dynamique C_r du palier, qui est de 48000 N. Comme le roulement n'est pas soumis à une charge axiale, un facteur de service de 1,3 est appliqué, ce qui nous donne l'équation suivante :

$$P_r = F_r * 1,3 = 47,7 * 1,3 = 62 \text{ N}$$

D'après la formule (« Paliers Auto-Aligneurs Self-Lube et J-Line », s. d.) ,la durée de vie.

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^3 * \frac{10^6}{n * 60} = 2461770258693 \text{ heures}$$

3.8 La clavette

3.8.1 Définition

La clavette permet de lier en rotation l'arbre et l'alésage, c'est-à-dire qu'elle assure la transmission du couple entre l'arbre et le moyeu. Dans notre cas, il s'agit du marteau et de la poulie.

3.8.2 Choix de clavette

Le choix de la clavette dépend de son type, des dimensions de l'arbre et du moyeu, ainsi que du matériau de l'arbre.

Dimension de l'arbre et matériau : $\varnothing D = 22 \text{ mm}$, acier SAE 1040.

Type de clavette : clavette parallèle, forme C.

d	a	b	s	j	k
de 6 à 8 inclus	2	2	0,16	$d - 1,2$	$d + 1$
8 à 10	3	3	0,16	$d - 1,8$	$d + 1,4$
10 à 12	4	4	0,16	$d - 2,5$	$d + 1,8$
12 à 17	5	5	0,25	$d - 3$	$d + 2,3$
17 à 22	6	6	0,25	$d - 3,5$	$d + 2,8$
22 à 30	8	7	0,25	$d - 4$	$d + 3,3$
30 à 38	10	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$
38 à 44	12	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$
44 à 50	14	9	0,4	$d - 5,5$	$d + 3,8$
50 à 58	16	10	0,6	$d - 6$	$d + 4,3$

Tableau II. 14 Choix de clavette (CHEVALIER 2004).

3.9 CONCEPTION DU MODELE SOUS SOLIDWORKS

3.9.1 Introduction

Dans cette section, Les principaux éléments réalisés et dessinés sont faits par SolidWorks. Ce dernier est un logiciel de conception assistée par ordinateur. Il utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres. Il nous permet d'esquisser nos idées et faire des expériences avec différentes conceptions pour créer des modèles 3D à l'aide de l'interface utilisateur graphique intuitive Windows.

3.9.2 Représentation par pièce

a) La conception du trémis

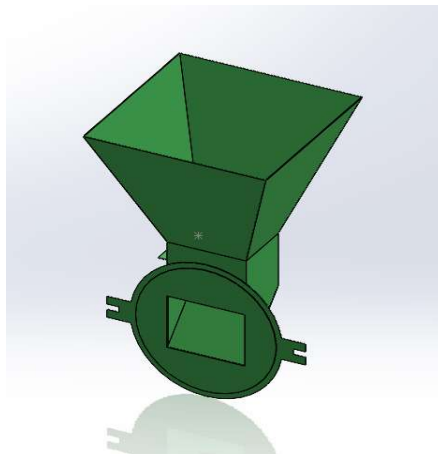


Figure II. 12 La trémis

La trémis permet de stocker le riz bien préparé à broyer.

b) Le coque centrale

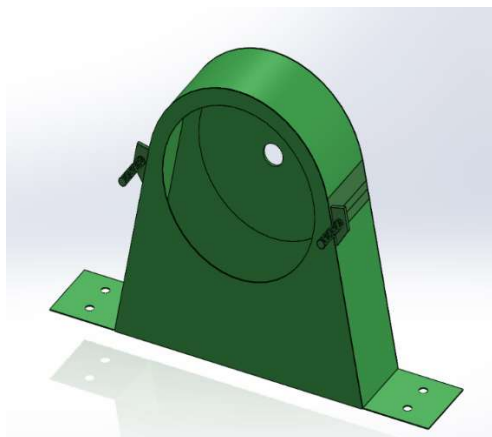


Figure II. 13 Coque centrale

Il contient la chambre de broyage et porte la trémis.

c) Verseur

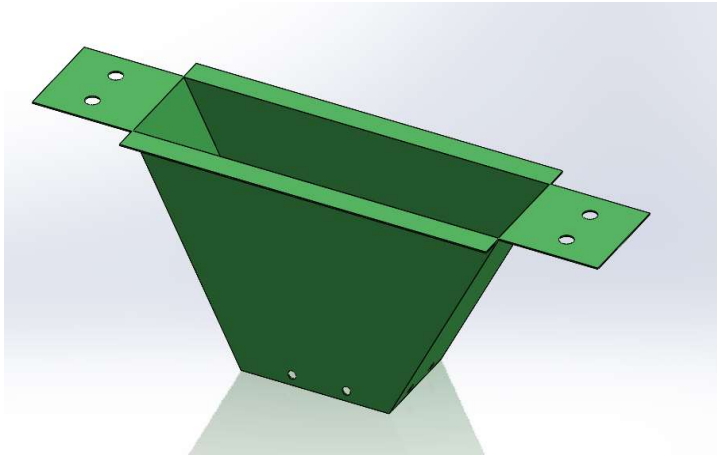


Figure II. 14 Verseur

d) Tamis



Figure II. 15 Tamis

e) Marteau

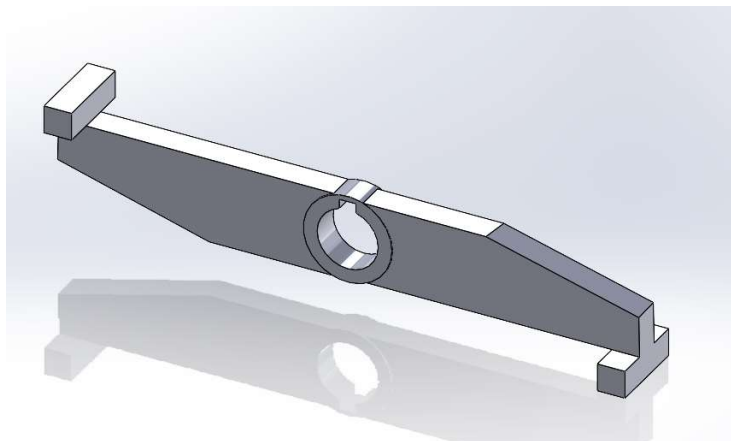


Figure II. 16 Marteau

f) Arbre



Figure II. 17 Arbre

L'arbre entraîne en rotation de marteau reçu par la transmission de la poulie et courroie.

g) Poulie

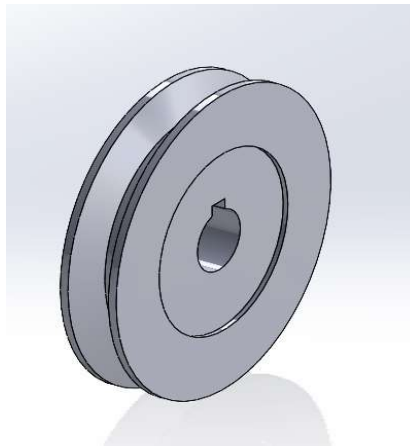


Figure II. 18 Poulie

Elle a pour rôle de transmission de puissance.

h) Bâtis

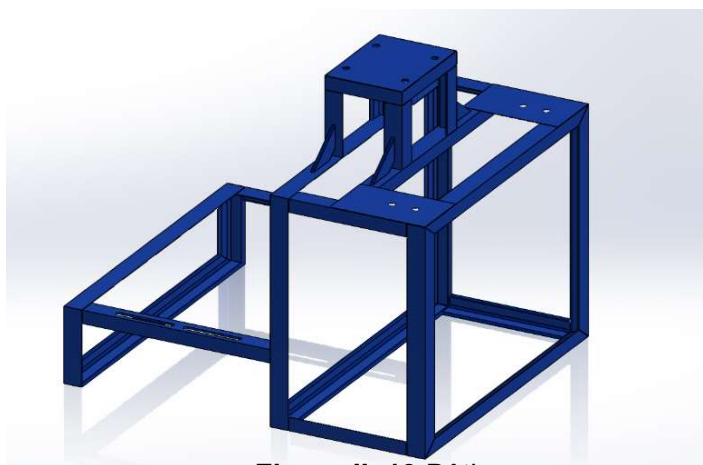


Figure II. 19 Bâtis

Le bâtis supporte toute la charge des éléments au-dessus et le moteur électrique.

i) Vue d'ensemble de broyeur du riz

La vue réaliste de l'ensemble de la machine ainsi que les éléments composants, sont présentées dans la figure.

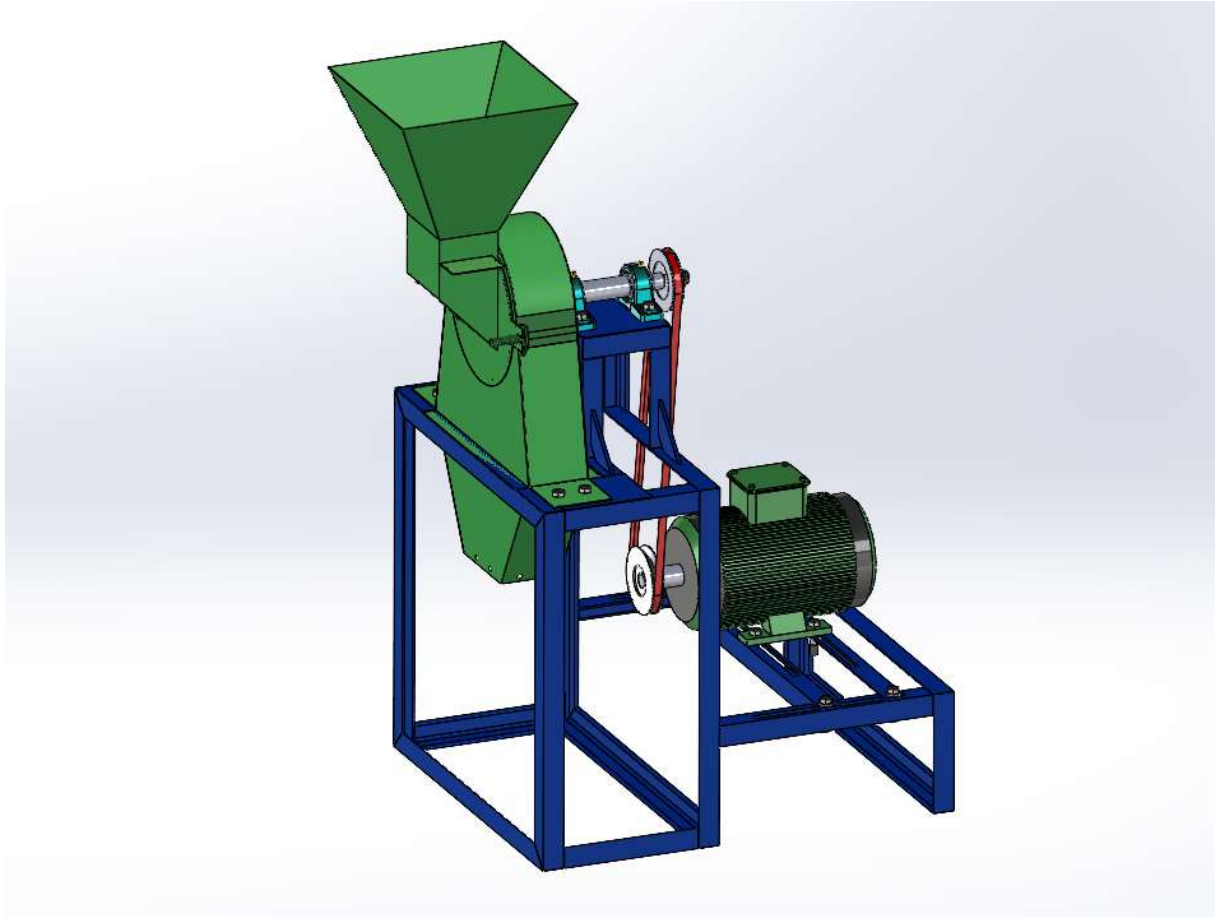


Figure II. 20 Vue d'ensemble de broyeur du riz.

3.9.3 Conclusion

Le dimensionnement d'un broyeur de riz, impliquant le choix et le calcul des composants clés, est crucial pour assurer son bon fonctionnement et sa longévité. En sélectionnant avec précision les dimensions des poulies, des courroies, et de l'arbre, ainsi qu'en ajustant correctement la puissance et la vitesse du moteur, on s'assure que la machine pourra traiter le riz de manière efficace et continue. Ce processus méticuleux, lorsqu'il est correctement exécuté, permet de concevoir un broyeur capable de répondre aux besoins spécifiques de la production, tout en minimisant les risques de défaillance et en maximisant la qualité du produit final.

4.1. Introduction

Après avoir étudié la théorie, qui est primordiale pour l'ingénierie, surtout en ce qui concerne la conception et le dimensionnement, passons maintenant à la pratique, qui englobe le travail personnel. Cette partie comprend la réalisation, les essais, et le mode d'emploi du broyeur de riz.

4.2. Realisation du broyeur du riz

Nous avons réalisé le broyeur en dehors de l'établissement. Le tournage de l'arbre, la poulie, ainsi que le perçage du marteau ont été effectués à l'atelier de tournage du Lycée technique. La construction du bâti et d'autres éléments, comme la trémie, la coque centrale contenant la chambre de broyage, le verseur, etc., a été réalisée dans un atelier privé.

- Trémis



Figure III. 1 Trémis

- Coque centrale



Figure III. 2 Coque centrale

- Verseur

Un dispositif qui verse la farine au panier.



Figure III. 3 Verseur

- Tamis

Tamis de diamètre de perforation 0,7 mm : Il détermine la granulométrie de la farine.



Figure III. 4 Tamis

- Marteau

Marteau : Pulvérise le grain de riz contre les parois de la chambre de broyage.



Figure III. 5 Marteau

- Arbre



Figure III. 6 Arbre

- Poulie



Figure III. 7 Poulie

- Bâtis



Figure III. 8 Bâtis

Broyeur de riz



Figure III. 9 Broyeur ensamblé

4.3. Essai

Après avoir fait la réalisation, passons maintenant aux essais qui renferment le travail personnel. Il comprend les matières premières, les dosages utilisés, les résultats et ces interprétations.

4.3.1 Préparations avant le broyage.

a) Matière première

Nous avons fais les essais de broyage dans l'atelier mecanique à l'ecole superieure polytechnique d'Antsiranana. Les matières premières utilisées sont :

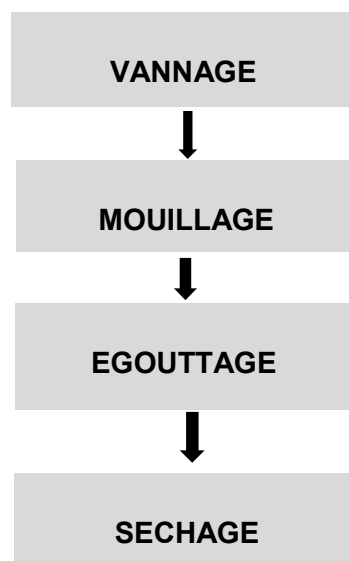
✚ Le riz blanc



Figure III. 10 Riz blanc

✚ L'eau de JIRAMA

b) Les étapes pour la préparation de matières brutes



Vannage des grains de riz

Les grains de riz ont été vannés à l'aide d'un van "Sahafa" afin d'éliminer les sons et de récupérer les grains de riz décortiqués.

Mouillage, égouttage et séchage

Les grains de riz ont été macérés dans de l'eau du robinet, mise dans une cuvette placée dans une chambre d'habitation. Après 30 minutes de macération, les grains mouillés ont été égouttés à l'aide d'un passoir de mailles très fines pour enlever l'eau de macération et récupérer les grains humides. Après l'égouttage, les grains humides ainsi obtenus ont été éparpillés uniformément sur une natte propre placée à un endroit propre et ensoleillé. Après 10 minutes de séchage, les grains ont été récupérés dans un récipient propre. Ce petit séchage solaire de 10 minutes a pour objectif de diminuer la teneur en eau des grains humides et de faciliter l'opération suivante.

c) Le dosage et taux d'humidité

Les différents types de broyage déterminent le taux d'humidité (« CONCEPTION D'UNE MACHINE MANUELLE A DECORTIQUER ET A MOUDRE LE MILLE », s. d.):

- Le broyage à sec: moins de 2 % de l'eau dans le produit.
- Le broyage sémi-humide : 2 à 5 % de l'eau dans le produit final.
- Le broyage en phase humide ou broyage à voie humide: 25 à 100 % de l'eau dans le produit.

4.3.2 Résultat après le broyage

a) 1^{ère} essai



Figure III. 11 1^{ère} essai

Pour cet essai, on a obtenu une farine composé de grain de riz. Cette erreur a dû sur la fuite au niveau de le tamis.

b) 2^{ème} essai



Figure III. 12 2^{ème} essai

Pour cet dernière essai, on a obtnue une farine de qualité, fine et propre. La fuite est réparée par le joint.

4.3.3 Interpretation de resultat

Pendant l'essai de broyage, on a constaté quelques facteurs et quelques paramètres :

Pour la première essai, le resultat est presque parfait, mais la fuite de grain de riz entre le tamis et la partie arrière, tamis et trémis est la cause de l'insatisfaction de produit final. C'est-à-dire la farine se mélange avec le riz blanc. Et l'absence de trou d'aération au-dessous de débitmètre de la trémis diminue le débit, car la force centrage de marteau necessite de l'air pour pulvériser ou pousser le grain de riz contre le rebord de la chambre de broyage.

Pour le deuxième essai, on a remédié les erreurs tel que, l'insersion de joint et le percage de trou d'aération. Le resultat obtenu après la réparation est parfait et satisfaisant , car la farine obtneue est très fine, propre.

4.4. MODE D'EMPLOI

Le mode d'emploi vise à fournir aux utilisateurs les instructions nécessaires pour utiliser correctement la machine, en assurant sécurité et efficacité.

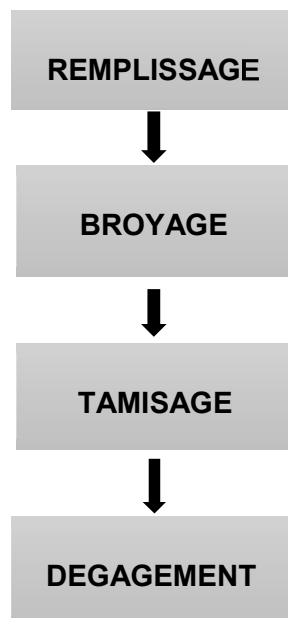


Figure III. 13 Processus de fabrication de la farine

4.4.1 REPLISSAGE

Après avoir préparé le riz, fermez d'abord le réglage de débit, puis versez le riz bien préparé dans la trémie du broyeur à riz.

4.4.2 BROYAGE ET TAMISSAGE

Démarrez le moteur pour faire tourner le marteau, ouvrez lentement le système de réglage de débit en desserrant la vis de fixation, qui régule le débit du riz de la trémie vers la chambre de broyage. Une fois le débit moyen obtenu, fixez le réglage de débit à l'aide de la vis de fixation. Si le diamètre du riz broyé est inférieur à celui des perforations du tamis, on obtient de la farine.

4.4.3 DEGAGEMENT

Une fois le riz sorti de la chambre de broyage et arrivé au bout du verseur, récupérez la farine à l'aide d'un panier. Enfin, mettez-la dans un sac à farine.

CONCLUSION GENERALE

Le projet de réalisation d'une machine de broyage de riz a été mené à bien, avec succès. Chaque étape, de l'étude bibliographique à la réalisation et aux essais, a été soigneusement planifiée et exécutée. Le résultat est une machine fonctionnelle, adaptée aux besoins d'une petite communauté locale, capable de produire de la farine de riz de manière continue et efficace. Ce projet contribue à résoudre les problèmes d'approvisionnement en farine de riz dans une communauté restreinte à Madagascar, tout en soutenant les traditions culinaires locales.

Les performances obtenues lors des tests sont encourageantes et montrent que la machine peut répondre efficacement aux besoins de broyage dans un contexte local. Bien que des améliorations puissent être envisagées à l'avenir pour optimiser certains aspects, les résultats obtenus sont en phase avec les objectifs fixés au départ. Ces éventuelles améliorations devront prendre en compte les contraintes rencontrées, notamment en termes de disponibilité des matériaux et de délais d'exécution.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIES

BELABED, Noui. 2020. *Conception d'un broyeur à double rouleaux dentés pour ferro-alliages*.

Blockmans, Paul, et François Dewaele. 2006. « Dossier de synthèse sur les différents types de moulins dans les pays en développement », juin.

BROUTIN, Cécile. 2003. *TRANSFORMER LES CÉRÉALES POUR LES NOUVEAUX MARCHÉS URBAINS*. LE POINT SUR. Saint-Étienne.

CHEVALIER, André. 2004. *Guide du dessinateur industriel*. Hachette Technique.

« CONCEPTION D'UNE MACHINE MANUELLE A DECORTIQUER ET A MOUDRE LE MILLE ». s. d.

Cruz, Jean-François, Djidjoho Joseph Hounhouigan, et Michel Havard. 2020. *La transformation des grains*. Éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2784-6>.

FAYE, Edmond Bigué. 2021. *CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES MOULINS*.

GUEYE, Arona. 1996. *CONCEPTION D'UNE MACHINE MANUELLE A DÉCORTIQUER ET À MOUDRE LE MIL*.

Martine, FRANÇOIS. 1988. *Du grain à la farine*. Le point sur les technologies. Paris, Altersial, Gret.

« Paliers Auto-Aligneurs Self-Lube et J-Line ». s. d. www.nskeurope.fr.

Petrova, O.V., et P.I. Pilov. 2013. « Procédés et machines de traitement des minéraux utiles ». Université Nationale des Mines.

SECK, LOUIS, et MOUSTAPHA KANE. 2021. *Etude de faisabilité technique et économique de Moulins solaires au niveau des PME et PMI gérées par des femmes au Sénégal*.

« Tabelle vitesse de coupe ». s. d. www.actionsuper.ch.

Transmissions par poulies et courroies dimensionnement norme ISO4183. s. d. <http://s3.us-east-1.amazonaws.com>.

« YC Series Single phase Induction Electric Motor(YC112M-4, B3) ». s. d. www.juridiconline.com.

ANNEXE

COUT D'USINAGE

Devis estimatif de la machine (en Ariary).

Principaux matériaux	Référence	Nombre	PU	PT
Cornière	40 x 40 x 3	2 barres	65 000	130 000
Tôle TPN	200 x 100 (Epaisseur : 12/10)	1 feuille	125 000	125 000
Baguette électrique	2,5 (E7018 et E6013)	200 pièces	150	30 000
Disques tronçonneuse	125 mm	3 pièces	3 000	9 000
Disque ébarbeuse	125 mm	1 pièces	5 000	5 000
Arbre	Demi-arbre de l'automobile	1	20 000	20 000
Palier	SKF amovible, Øalésage : 30 mm	1 paire	126 000	126 000
Boulon de fixation	Boulon H ISO 4041-M12x50-8.8	8	2 000	16 000
Boulon de fixation	Boulon H ISO 4041- M10x40 8.8	8	2 000	16 000
Rondelle	ISO 7089-M12	8	700	5 600
Rondelle	ISO 7089-M10	8	300	2 400
Lime	Bahco 1-170-08-2-2	1	4 000	4 000
Tôle plate	200 x 40(Epaisseur : 6mm) - S235-EN 10025-2	1 barre	15 000	15 000
Tamis	Øperforation : 700µm-Acier inoxydable	1 pièce	30 000	30 000
Rivet	ISO 15983-2.4 x 12- Aluminium	8 pièces	100	800
Gouttière	NF EN 1462-Gouttière- Acier galvanisé- 280 mm			
Poulie	Brute non définie		45 000	45 000
Peinture	À l'huile	3 boîtes	8 000	24 000
Courroie	12.5 x 1250	1 pièce	18 000	18 000
Moteur électrique	YC112 M-2 1~ / 4HP / 3 KW / 220 V / 22.4 A / 2850 tr.min-1	1	800 000	800 000
			Total	1 421 800

Procédé de fabrication	Prix
Tournage et fraisage	95 000

Arrêté à la somme au montant de **Un million cinq cent seize mille huit cent Ariary.**